การเคลื่อนตัวของดินเนื่องการจากขุดเจาะอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแรงดันดินสมดุลในดินกรุงเทพฯ

นายซกไต ลิม

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

Thesis Title	GROUND MOVEMENT RESPONSE DUE TO EARTH PRESSURE BALANCE SHIELD TUNNELING IN BANGKOK SUBSOIL
By	Soktay Lim
Field of Study	Civil Engineering
Thesis Advisor	Associate Professor Wanchai Teparaksa, D. Eng.
Thesis Co-advisor	Professor Satoru Shibuya, Ph.D.

Accepted by the Faculty of Engineering, Chulalongkorn University in Partial Fulfillment of the Requirements for the Doctoral Degree

.... Dean of the Faculty of Engineering

(Professor Direk Lavansiri, Ph.D.)

THESIS COMMITTEE

.... Chairman

(Associate Professor Boonsom Lerdirunwong, D. Ing.)

.... Thesis Advisor

(Associate Professor Wanchai Teparaksa, D. Eng.)

.... Thesis Co-advisor

(Professor Satoru Shibuya, Ph.D.)

.... Member

(Assistant Professor Tirawat Boonyatee, D. Eng.)

.... Member

(Tanate Srisirirojanakorn, Ph.D.)

.... Member

(Attasit Sawatparnich, Ph.D.)

นายซกไต ลิม: การเคลื่อนตัวของดินเนื่องการจากขุดเจาะอุโมงค์ด้วยหัวเจาะแรงดันดินสมดุลในดินกรุงเทพฯ (GROUND MOVEMENT RESPONSE DUE TO EARTH PRESSURE BALANCE SHIELD TUNNELING IN BANGKOK SUBSOIL) อ.ที่ปรึกษา: รศ. ดร. วันชัย เทพรักษ์, อ.ที่ปรึกษาร่วม: PROF. SATORU SHIBUYA, Ph.D. 176 หน้า.

พฤติกรรมการทรุดตัวของดินยังคงเป็นคำถามโดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ในพื้นที่เขตเมืองที่มีประชากรอาศัยหนาแน่นและมีอุปสรรคสิ่งกีดขวางมากมายตลอดแนวการขุดเจาะอุโมงค์ งานวิจัยนี้ทำการศึกษาพฤติกรรมการทรุดตัวของดินเนื่องจากการขุดเจาะอุโมงค์และทำการวิเคราะห์กลับด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ สองมิติเพื่อการประมาณค่าการทรุดตัวอย่างเหมาะสมในการขุดเจาะอุโมงค์ในกรุงเทพ

อุโมงค์ระบายน้ำขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 5.55 ม.ในโครงการคลองระบายน้ำแสนแสบ-คลองลาดพร้าว-สถานีสูบน้ำพระโขนง ได้ทำการขุดเจาะด้วยหัวเจาะแรงดันดินสมดุลทั้งการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นทรายแน่นและดินเหนียวแข็งดินดานที่ความลึกศูนย์กลางอุโมงค์ประมาณ 27.50 ม.ต่ำจากผิวดิน ผลการตรวจวัดการเคลื่อนตัวของดินจากการขุดเจาะอุโมงค์สามารถแบ่งได้เป็น 3 ส่วนคือ การทรุดตัวก่อนถึงหัวเจาะ การทรุดตัวในหัวเจาะ และการทรุดตัวของช่องว่างระหว่างอุโมงค์กับดินภายหลังการเจาะผ่านของหัวเจาะ (Tail Void) การทรุดตัวที่ผิวดินหลักๆ เกิดขึ้นจากช่องว่างระหว่างอุโมงค์กับดินภายหลังการเจาะผ่านของหัวเจาะประมาณ 63-67 % ของการทรุดตัวทั้งหมด สำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ระบายน้ำทั้งในชั้นทรายแน่นและชั้นดินเหนียวแข็งดินดาน

การวิเคราะห์การทรุดตัวของดินได้ทำการวิเคราะห์ด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์โดยอ้างอิงพฤติกรรมการพังทลายของดินชนิด Mohr-Coulomb เพื่อยืนยันผลการตรวจวัดการทรุดตัวที่ผิวดินทั้งกรณีการขุดเจาะอุโมงค์ปกติ การขุดเจาะอุโมงค์ผ่านใต้ฐานรากเสาเข็มสะพานคลองตัน และขุดเจาะอุโมงค์ผ่านด้านข้างฐานรากเสาเข็มตอม่อรถไฟฟ้า BTS อัตราส่วนระหว่าง Young Modulus กับกำลังรับแรงเฉือนของดิน (E_u/S_u) จากการวิเคราะห์กลับด้วยวิธีไฟไนท์อิลิเมนท์ พบว่ามีค่าประมาณ 240, 360 และ 480 สำหรับดินเหนียวอ่อน ดินเหนียวแข็งปานกลาง และดินเหนียวแข็งมากตามลำดับ ในขณะที่ ค่า Drain Modulus (E', kN/m^2) ในชั้นทรายแน่นมีค่าประมาณ $2000N_{60}$ ผลการประเมินการทรุดตัวที่ผิวดินด้วยวิธี Empirical พบว่าค่าขอบเขตความกว้างของการทรุดตัว (i) มีค่าประมาณ $0.24z_0$ – $0.35z_0$ สำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นทรายแน่น และเพิ่มกว้างขึ้นเป็นประมาณ $0.46z_0$ สำหรับการขุดเจาะอุโมงค์ในชั้นดินเหนียวแข็งดินดาน

ภาควิชา......วิศวกรรมโยธา...... ลายมือชื่อนิสิต......................
สาขาวิชา......วิศวกรรมโยธา...... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา......................
ปีการศึกษา ......2549...... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม......................

4671844721: MAJOR CIVIL ENGINEERING

KEY WORD: EPB SHIELD TUNNELING/ GROUND LOSS/ GROUND MOVEMENTS/ OBSTRUCTIONS/ FE BACK SIMULATION

SOKTAY LIM: GROUND MOVEMENT RESPONSE DUE TO EARTH PRESSURE BALANCE SHIELD TUNNELING IN BANGKOK SUBSOIL. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. WANCHAI TEPARAKSA, D. Eng., THESIS CO-ADVISOR: PROF. SATORU SHIBUYA, Ph.D., 176 pp.

Ground surface and subsurface movement behaviors remained the questions, especially for the tunnels bored in the densely populated urban area where the several obstructions are usually found along the tunneling route. This research aims to study the behavior of ground surface and subsurface deformations due to tunneling and to do the back analysis based on the 2D FE analysis for an appropriate settlement prediction of tunnel in Bangkok.

An OD 5.55 m flood diversion tunnel of Saensaep-Latphroa Phrakhanong project was bored by means of EPB shield machine in both dense silty sand and hard silty clay layers with centerline at about 27.50 m below ground surface. Half route of the tunnel was bored underneath two bridges and busy roads. The recorded ground surface and subsurface response can be classified into 3 phases as deformation in front of the shield face, deformation within the shield body and deformation due to tail void behind the shield. The major ground surface settlement induced by tail void is about 63-67% of total ground surface settlement for tunneling in both dense silty sand and hard silty clay layers. The 2D FE analysis was carried out based on Elasto-Plastic (Mohr-Coulomb) failure criteria to confirm with ground settlements monitored at different cases of tunneling: tunnel bored without obstructions, under the Klongtan bridge pile foundation and adjacent to the BTS sky train pile foundation. The ratio E_u/S_u for FE analysis has been confirmed as 240, 360 and 480 for soft clay, medium stiff clay and stiff silty clay layers, respectively. In addition, $E'(\text{kN/m}^2) = 2000.N_{60}$ can be used for dense silty sand layers. The surface settlement trough width, i, based on empirical method is found between $0.24z_0$ and $0.35z_0$ for tunnel excavated in dense silty layer and it is increased to $0.46z_0$, which is wider, for tunnel in hard silty clay.

Department....Civil Engineering.... Student's signature....
Field of study....Civil Engineering.... Advisor's signature....
Academic year....2006.... Co-advisor's signature....

ACKNOWLEDGEMENT

Many people have supported me in different ways during my doctoral program at both Chulalongkorn University and Kobe University. Without their helps and supports, this work is not possible.

I would like to thank JICA and AUN/Seed-Net for their financial support without their funding the starting point cannot happen.

I deeply appreciate the enormous academic support from three professors: Associate Professor Dr. Wanchai TEPARAKSA, major advisor, for his advice on this work and for provision on necessary documents; Professor Dr. Satoru SHIBUYA, co-advisor, for his encouragement and invaluable advice not only during my research in geotechnical laboratory at Kobe University, but also during my works at Chulalongkorn University; Assistant professor Dr. Tirawat BOONYATEE, committee member, for his encouragement and revision of some parts related to the review of Finite Element Method.

This field data collection won't be possible without cooperation and involvement of the following personnel of a joint venture of Italian-Thai Development PCL and Nishimatsu Construction Co., Ltd. in Bangkok: Mr. Kobchai PORNPRASIT and Mr. Sumate SANGMANEE, site engineers.

I am grateful to Assistant Professor Dr. Sangrawee CHAOPRICHA, Technical writing professor for being my editor.

In addition, the author likes to express his cordial thanks to all the thesis committee members for their invaluable comments during the thesis proposal defense.

A further word of thanks is devoted to all the former master students of Geotechnical Engineering Division, Chulalongkorn University, and the PhD students under supervision of Associate Professor Dr. Wanchai TEPARAKSA for their support on FEM analysis and the research activities.

Finally, very special gratitude goes to my family in Cambodia, my parents, brother and sisters, and especially my wife, Sodany TANN and my daughter Seavmey LIM for their mental support, continuous encouragement, and patience.

CONTENTS

LIST OF TABLES

LIST OF FIGURES

LIST OF SYMBOLS

2D	two dimensions or two dimensional
3D	three dimensions or three dimensional
A	sectional area, total area of settlement trough
BKK	Bangkok
BMA	Bangkok Metropolitan Administration
BTS	Bangkok Mass Transit System
c	cohesion
c_u	undrained cohesion
CH	inorganic clays of high plasticity
CL	inorganic clays of low to medium plasticity
Co	company
D	tunnel diameter
DEM	distinct element method
d_{eq}	equivalent thickness of a beam or plate
E	elastic stiffness or Young's modulus
E'	drained Young's modulus
E_{50}	average secant modulus
E_c	elastic stiffness of concrete
E_{oed}	oedometer modulus
E_{sec}	secant Young's modulus
E_u	undrained Young's modulus
E_{ur}	unloading Young's modulus
FDM	finite difference method
FE	finite element
FEM	finite element method
FVS	Field vane shear test
EPB	earth pressure balance
g	acceleration of earth gravity
G	shear modulus

G_{AP}	gap parameter
G_p	physical gap
G_{sec}	secant shear modulus
i	surface settlement trough width
I	moment inertia
IC	inclinometer
JSCE	Japan Society of Civil Engineers
JSST	Japanese standard for shield tunneling
Ltd	limited
K	empirical constant of proportionality or surface settlement trough width parameter, coefficient of total lateral earth pressure
K'	bulk modulus of soil skeleton
K_o	coefficient of lateral earth pressure at rest
K_w	bulk modulus of water
km	kilometer
m	meter
m	auxiliary elastic constant
ME	extensometer or magnetic extensometer
mm	millimeter
MRTA	Mass Rapid Transit Authority of Thailand
MTX	monotonic triaxial test
n	porosity
N_{60}	SPT N-value at 60% energy ratio
NATM	new Austrian tunneling method
OCR	overconsolidation ratio
OD	outer diameter
PCL	public company limited
R	radius of the tunnel
r_1, r_2	distances from the singular point and its image
R_{inter}	strength reduction factor of soil-structure interface
s	settlement
s_{max}	maximum settlement
S_u	undrained shear strength
SM-SP	poorly graded silty sand

TBM	tunnel boring machine
u	pore water pressure
u^*_{3D}	three-dimensional elastic deformation
u_x	displacement in x direction
u_y	displacement in y direction
V_s	volume of the surface settlement trough per unit length
V_L	volume loss or ground loss
x	transverse distance from the tunnel axis
z	depth from ground surface to any subsoil level
z_0	depth from ground surface to tunnel axis
α	scale factor in centrifuge model testing
δ	relative displacement caused by the ovalization of the tunnel, clearance between tunnel lining and tail skin of a TBM
Δ	thickness of tailpiece or tail skin of a TBM
ε	relative uniform radial displacement of the tunnel surface or uniform radial ground loss
ε_s	shear train
γ_c	unit weight of concrete
γ_t	total unit weight
φ	friction angle
φ'	drained or effective friction angle
φ_u	undrained friction angle
κ	Cam-clay swelling index
κ^*	modified swelling index
λ	proportional parameter, Cam-clay compression index
λ^*	modified compression index
ν	Poisson's ratio
ν'	drained Poisson's ratio
ν_c	Poisson's ratio of concrete
ν_u	undrained Poisson's ratio
ρ	bulk density
ρ_w	water density

σ	total tress
σ'	effective stress
σ_0	initial tress or initial overburden
σ_h	total horizontal stress
σ'_h	effective horizontal stress
σ_v	total vertical stress
σ'_v	effective vertical stress
ω	workmanship factor
ψ	dilatancy angle